

# ENSAIO MECÂNICO PARA DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA DE COBERTURAS METALIZADAS VIA PLASMA SPRAY

F. R. Hirota, N. G. Costa

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Federal de Engenharia de Itajubá,  
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG, cep:37.500-000

**Palavras-chave:** ensaio, aderência, delineamento de experimentos (DOE), plasma spray.

## RESUMO

A tecnologia de metalização, também denominada por aspensão térmica, consiste em recobrir um substrato geralmente com material diferente da base. O recobrimento é responsável pelo aumento de propriedades mecânicas da superfície como dureza, resistência ao desgaste abrasivo e adesivo, resistência a altas temperaturas, promover propriedades abrasivas e contra a corrosão do substrato.

Dentre diversas tecnologias, a Plasma spray tem ampla aplicação na recuperação de pás de turbina de avião, como revestimento de anéis de pistão e para dar uma certa porosidade em materiais biomédicos (próteses).

O problema principal dessa tecnologia surge da falta dessa aderência do recobrimento metalizado e na determinação de limites de especificação para a qualidade deste revestimento. Arola e McCain (2000) investigam o modo de preparação do substrato para a deposição, Ouyang e Sasaki (2001) estudam as propriedades tribológicas (lubrificação/desgaste/fricção) de revestimento de  $Cr_2O_3$  depositado pelo método de plasma spray. A rugosidade da superfície para a metalização, a presença de uma camada adesiva de Níquel, a espessura da camada depositada e a vazão de pó na pistola podem influenciar a aderência na superfície.

A intensidade de estudos na otimização desse processo vem da necessidade de qualidade do produto aliado ao baixo custo da produção. Trata-se de um processo caro e com parâmetros difíceis de ser controlados e analisados, não sendo muito versátil para aplicações de campo.

O objetivo principal dessa pesquisa é encontrar um limite de especificação com confiabilidade para a aderência da camada, ou seja, determinar uma carga de aplicação sobre corpo de prova que seja capaz de provocar trincas ou até o deslocamento da cobertura. Sendo capaz de identificar qual parâmetro ou combinação que afeta diretamente a qualidade do produto e sua interferência nos resultados de aderência da camada depositada, utilizando a ferramenta estatística de análise experimental para determinar o ponto ótimo de parâmetros que verifiquem o melhor recobrimento.

Segundo Neto *et al* (1995) não são raras as situações em que um determinado experimento, realizado com as melhores das intenções, termine em fracasso, produzindo apenas alguns dados estéreis, sem qualquer utilidade para a resolução do problema em questão. Para que isto não aconteça, resolvemos, neste trabalho, recorrer à estatística e ao projeto e análise de experimentos para planejar, detalhadamente, a realização deste. Além de minimizar os custos operacionais, tal precaução nos dará a garantia de que os resultados conterão informações confiáveis e relevantes para a solução a ser alcançada. O projeto e análise de experimentos podem ser uma resposta a esse tipo de situação, pois é uma técnica que visa, particularmente, a dois grandes objetivos: a maior precisão estatística na análise das respostas e o menor custo operacional possível.

Neste trabalho, utilizou-se o projeto e análise de experimentos para planejar e controlar o processo de metalização de acordo com as respostas requeridas. Nele foi construídas uma matriz de 16 experimentos, com reaplicação, utilizando os parâmetros de vazão do pó,

camada intermediária (adesiva) de Níquel, e pressão no jateamento, parâmetros que influenciam diretamente na estrutura da camada, aderência e rugosidade do substrato respectivamente (ver Figura 1).

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Pressão de Ar Comprimido	Camada Intermediária de Níquel	Vazão do pó
1	4	1	1	1	80 PSI	COM	72 g/min
2	11	2	1	1	50 PSI	COM	72 g/min
3	1	3	1	1	50 PSI	SEM	72 g/min
4	8	4	1	1	80 PSI	COM	150 g/min
5	15	5	1	1	50 PSI	COM	150 g/min
6	3	6	1	1	50 PSI	COM	72 g/min
7	12	7	1	1	80 PSI	COM	72 g/min
8	5	8	1	1	50 PSI	SEM	150 g/min
9	7	9	1	1	50 PSI	COM	150 g/min
10	14	10	1	1	80 PSI	SEM	150 g/min
11	9	11	1	1	50 PSI	SEM	72 g/min
12	16	12	1	1	80 PSI	COM	150 g/min
13	10	13	1	1	80 PSI	SEM	72 g/min
14	6	14	1	1	80 PSI	SEM	150 g/min
15	2	15	1	1	80 PSI	SEM	72 g/min
16	13	16	1	1	50 PSI	SEM	150 g/min
17							
18							

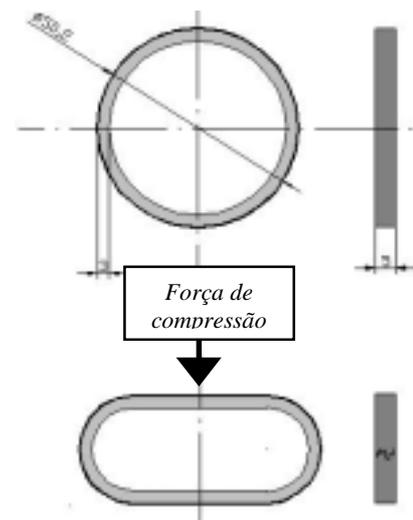
**Figura 1:** Planilha de metodologia de processo.

Após metalização de corpos de prova com Corpos de Prova anelares, aço inox F138, dimensões  $50\text{mm} \pm 0,2\text{mm}$  de diâmetro (externo), radial = 3mm e altura = 5mm (Ver figura 2), com pó Amperit MC42, base Molibdênio, caracterizou-se morfológica e quimicamente, via MEV-EDS (Microscopia Eletrônica de Varredura acoplado a um EDS–Energy Dispersive Spectrometry).

Durante a deposição mantiveram-se constantes os parâmetros: tensão/corrente (596A), número de passes total (22 passes), distância pistola à superfície (107mm), rugosidade do substrato ( $Ra=2,50\mu\text{m}$ ,  $Rt=31,30\mu\text{m}$ ). Os valores foram adotados e controlados para cada tipo de pó, podendo haver variações desprezíveis devido o processo ser realizado em bancada industrial e não de laboratório de testes. Conseguiu-se aplicar a superfície uma camada próxima de 0,4 mm.

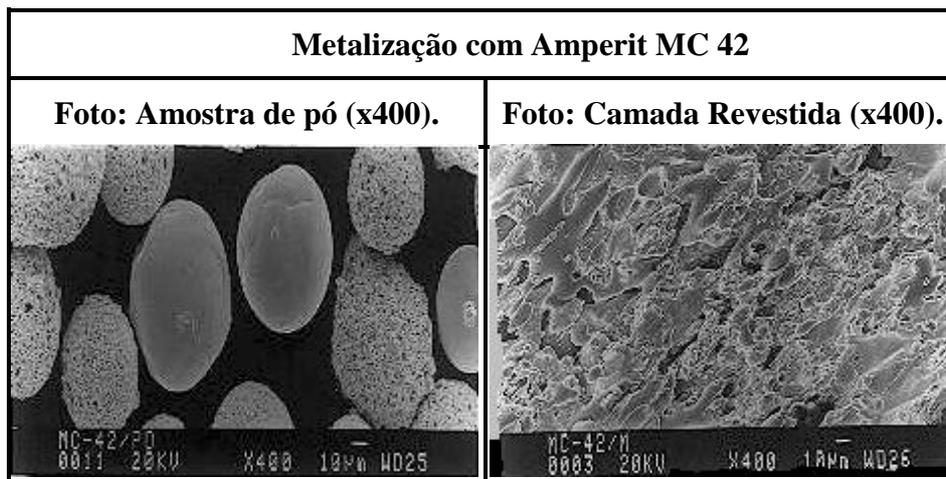
A aderência foi obtida seguindo metodologia semelhante a ASTM G12-83 e ASTM G70-81, ensaios em anéis referentes a tubulações recobertas. Essa metodologia foi explorada e adaptada ao nosso projeto. O Método consiste em aplicar sobre o anel uma força de compressão utilizando uma máquina Kratus para testes. A deformação causada no anel fará com que apareça uma força de destacamento da camada causada pela diferença de escoamento do material base e recobrimento (Figura 2).

As imagens obtidas por MEV-EDS permitiram determinar a granulometria e a morfologia do pó para metalização. O pó Amperit MC42 (Figura 3) apresenta morfologia



**Figura 2:** Ensaio de aderência.

elíptica e granulometria na faixa de 120 $\mu$ m por 70 $\mu$ m. Notou-se a presença de grãos lisos em algumas regiões, analisando quimicamente, trata-se de grãos basicamente de cromo e níquel (60%Ni, 30%Cr, em peso).



**Figura 3:** MEV-EDS do MC 42, pó e camada.

Na análise dos resultados foi possível concluir:

- A camada intermediária de Níquel interfere na aderência entre substrato e pó de metalização.
- A preparação da superfície utilizando uma maior pressão (80PSI) no jateamento permitiu contribuir para uma maior aderência.
- A vazão elevada (150g/min) altera a estrutura da camada, formando muitas vezes uma camada bem aderida, porém impraticável ao uso, devido à alta formação de partículas não fundidas.
- O desenvolvimento de parâmetros para metalização de um material, geralmente, é consequência de um trabalho de análise do pó e do respectivo revestimento. Para que se obtenha resultados satisfatórios, ou seja, qualidade de deposição, é preciso aplicar ações corretivas (balanceamento da composição química) nas características da matéria prima (pó) e parâmetros do processo, dependendo da aplicação do produto final.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica, à Edson e Antonio Benedito da Silva, Laboratório de Mecânica e Engenharia de Materiais, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, pela ajuda necessária e a Mahle Cofap Anéis - Itajubá pela oportunidade dada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arola D.D. e McCain M.L. - Abrasive Waterjet Peening: A New Method of Surface Preparation for Metal Orthopaedic Implants, Journal of Biomedical Materials Research, vol 53, issue 5 2000.**
- Ouyang J.H. e Sasaki S. - Effects of Different Aditives on Microstructure and High-Temperature Tribological Properties of Plasma Sprayed Cr<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Ceramic Coating, Wear, 249, 56-57 2001.**
- Neto B. B., Scarminio I. S., Bruns R.E. - “Planejamento e Otimização de Resultados”, editora da Unicamp, 2ª Edição, 1995.**